

Continental Teves AG & Co. OHG

07.11.03
P 10564
GP/GF/BE

D. Waldbauer
J. Kröber

Verfahren und Einrichtung zum Stabilisieren eines Gespanns

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Stabilisieren eines Gespanns, mit einem Zugfahrzeug und einem durch das Zugfahrzeug bewegten Anhänger, bei dem das Zugfahrzeug im Hinblick auf Schlingerbewegungen überwacht wird und beim Erkennen von tatsächlichem oder erwarteten instabilem Fahrverhalten des Zugfahrzeugs oder Gespanns fahrstabilisierende Maßnahmen ergriffen werden.

Das Verfahren zielt darauf ab, die Instabilitäten bei Fahrzeuggespannen (Kraftfahrzeug mit Anhänger), speziell von Kombinationen aus PKW und beliebigen Anhängern, insbesondere Wohnanhängern zu erkennen und auszuregeln, bevor Fahrzustände auftreten, die vom Fahrer nicht mehr beherrscht werden können. Diese instabilen Zustände sind das bei Gespannen bekannte Schlingern und gegenphasige Aufschaukeln von Zugfahrzeug und Anhänger sowie sich anbahnende Überrollzustände bei zu hoher Querschleunigung im Falle von Ausweichmanövern, Spurwechseln, Seitenwind, Fahrbahnstörungen oder hastigen Lenkanforderungen durch den Fahrer.

Je nach Fahrgeschwindigkeit können die Schwingungen abklingen, konstant bleiben oder sich verstärken (ungedämpfte Schwingung). Bleiben die Schwingungen konstant, so hat das Gespann die kritische Geschwindigkeit erreicht. Oberhalb dieser Geschwindigkeitsschwelle ist ein Gespann instabil, darunter stabil, d.h. eventuelle Schwingungen klingen ab.

Die Höhe dieser kritischen Geschwindigkeit ist abhängig von den Geometriedaten, den Reifensteifigkeiten, dem Gewicht und der Gewichtsverteilung des Zugfahrzeugs und des Anhängers. Außerdem ist die kritische Geschwindigkeit bei gebremster Fahrt niedriger, als bei Konstantfahrt. Bei beschleunigter Fahrt ist sie wiederum höher als bei konstanter Fahrt.

Entsprechende Verfahren und Vorrichtungen sind in verschiedenen Ausbildungen bekannt (DE 199 53 413 A1, DE 199 13 342 A1, DE 197 42 707 A1, DE 100 34 222 A1, DE 199 64 048 A1).

Aus der DE 197 42 702 C2 ist eine Einrichtung zum Dämpfen von Schlingerbewegungen für mindestens einen von einem Zugfahrzeug gezogenen Anhänger bekannt, bei dem die Winkelgeschwindigkeit des Anhängers um den Momentanpol oder der Knickwinkel um den Momentanpol erfasst und differenziert wird, und zur Regelung der Radbremsen des Anhängers heran gezogen wird. Als Sensoren für die Winkelgeschwindigkeit dienen Beschleunigungsmesser in unterschiedlicher Lage. Die DE 199 64 048 A1 sieht ebenfalls einen Querschleunigungssensor oder einen Gierratensensor vor, mittels denen die Schlingerbewegung ermittelt werden soll. Nach Auswertung des Signals soll dem Fahrzeug ein periodisches Giermoment eingeprägt werden. Die DE 100 34 222 A1 ermittelt einen Zeitpunkt zum phasenrichtigen Bremseneingriff, der in Abhängigkeit von der Frequenzgröße und der Phasengröße der Schlingerbewegung gebildet wird.

Darüber hinaus ist es aus der EP 0765 787 B1 bekannt, fahrverzögernde Maßnahmen zu ergreifen, wenn die Amplitude einer querdynamischen, innerhalb eines Frequenzbandes schwingenden Fahrzeuggröße einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet und wenn eine Lenkbewegungsgröße eine vorgegebene Schwelle nicht überschreitet. Als am Fahrzeug gemessene Fahrzeuggröße wird hier ebenfalls die Querschleunigung und/oder die Gierwinkelgeschwindigkeit (Gierrate) herangezogen.

Dabei ist es nötig, den Lenkwinkel in Hinblick auf eine vorgegebene Schwelle zu überwachen, um die fahrzeugverzögernden Maßnahmen nur dann zu ergreifen, wenn der Lenkwinkel möglichst konstant ist.

Zusammenfassend läßt sich die Stabilisierungsstrategie aller Ausführungsvarianten wie Folgt zusammenfassen:

- Erkennung des Schlingerns durch Auswertung der Sensorinformationen, wobei sämtliche Sensoren vorteilhaft im Zugfahrzeug oder Anhänger untergebracht sind.
- Bei erkannter instabiler Situation erfolgt ein Abbremsen des Fahrzeugs durch Reduzierung des Motormoments und Druckaufbau in den Radbremsen des Zugfahrzeugs.
- Zusätzlich oder Alternativ erfolgt das Aufbringen eines Moments um die Hochachse des Zugfahrzeugs, welches der vom Anhänger auf das Zugfahrzeug übertragenen Kraft entgegenwirkt und somit die Schwingung bedämpft.

Die Erkennung des Schlingerns eines Gespanns beruht hauptsächlich auf der Tatsache, dass die Gierrate oder Querbesehleunigung einen nahezu sinusförmigen Verlauf zeigt, dessen Frequenz in einem typischen Band liegt, ohne dass der Fahrer entsprechende Lenkbewegungen durchführt, die zu dem beobachteten Quergrößenverlauf führen würden. Problematisch an dieser Erkennungsstrategie ist, dass es noch andere Manöver gibt, die ähnliche Signalverläufe erzeugen. So können z.B. bei Kurvenfahrten mit konstantem Lenkwinkel Aufbau-schwingungen entstehen, die ebenfalls sinusförmige Quergrößenverläufe entstehen lassen. Eine weitere Möglichkeit solche Quergrößenverläufe zu erhalten ist, über unebene Straßen zu fahren, insbesondere wellige Fahrbahnen, speziell wechselseitige Bodenwellen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zu schaffen, die instabiles Fahrverhalten zuverlässig erkennen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die Gierwinkelgeschwindigkeit erfasst und die fahrstabilisierenden Maßnahmen in Abhängigkeit von einem Differenzwert gesteuert werden, der aus der erfassten Gierwinkelgeschwindigkeit und einer modellbasierten Gierwinkelgeschwindigkeit gebildet und nach Kriterien ausgewertet wird, die auf ein instabiles Fahrverhalten hinweisen.

Vorteilhaft werden durch das Verfahren schlingernde Gespanne, insbesondere PKW-Anhänger-Gespanne, zuverlässig erkannt. Dabei wird aus der gemessenen Gierrate und der modellbasierten Referenzgierrate ein Differenzwert $\Delta\dot{\psi}$ generiert, der die Abweichung des Fahrzeugs gegenüber der durch die Lenkradstellung vorgegebenen Bahn repräsentiert. Da dieser Differenzwert nur noch die Abweichung von der gewünschten Bahn darstellt, erfolgt durch die Überwachung des Differenzwertes die Beurteilung von Schwingungen unabhängig von einer durch z.B. Lenkeinschlag durchfahrenen Kurvenbahn. Vorzugsweise wird er Differenzwert in einem Tiefpass-Filter gefiltert um Signalspitzen abzuschneiden, die von der Reibwertermittlung ausgelöst werden. Darüber hinaus werden Fehlerkennungen und damit Fehlanregelungen vermieden. Das Verfahren und die Einrichtung erfordern vorteilhaft nur eine Sensorik die in einer ESP-Fahrstabilitätsregelung vorhanden ist.

Dabei erfolgt über die von einem Drehratensensor gemessenen und in einer ESP Fahrdynamikregelung abgeleiteten und logisch mit der ESP Regelungsstrategie verknüpften Daten, in die Daten eines Kraftfahrzeugs einbezogen werden können, eine Generierung eines Ansteuersignals für einen Elektromotor einer Hydraulikpumpe, die einen Bremsdruck erzeugt und damit die Radbremse des Zugfahrzeugs oder Anhängers betätigt. Al-

ternativ oder zusätzlich kann auch ein Aktuator einer Überlagerungslenkung angesteuert werden. Durch die Einbremsung eines Rades vorzugsweise des Zugfahrzeugs oder durch die Einbremsung aller Räder des Zugfahrzeugs mit gleichem oder unterschiedlichem Bremsdruck entsprechend einer ESP Regelstrategie, können durch Abbau der Fahrzeuggeschwindigkeit und/oder der Seitenkräfte an einem Rad mit erhöhtem Bremsdruck und/oder der Erhöhung der Längskräfte die sensorisch erfassten Instabilitäten des Gespanns korrigiert und die ggf. zu hohe Querdynamik des Gespanns abgebaut werden.

Vorteilhaft ist, dass die Frequenz und die Amplitude jeder Halbwelle des Differenzwertes ermittelt, mit gespeicherten Werten verglichen und in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis die Schlingerbewegung des Gespanns bewertet wird.

Vorteilhaft erhält man die Schwingungsfrequenz des Gespanns dadurch, dass die Frequenz aus den Nulldurchgängen und der Zeit zwischen zwei Nulldurchgängen der Gierwinkelgeschwindigkeit ermittelt wird.

Die Bedingung zur Erkennung eines schlingernenden, instabilen Gespanns wird vorteilhaft durch die Schritte erfüllt: Zählen der Anzahl der Halbwellen des Differenzwertes, bei denen die Amplitude jeder Halbwelle einen Schwellenwert erreicht oder überschreitet, Zählen jeder positiven und negativen Halbwelle der ermittelten Frequenz, wenn jede positive und negative Halbwelle innerhalb eines durch einen oberen und unteren Schwellenwert definierten Bandes liegt und Vergleichen des Werts der gezählten Halbwellen mit einem eine Anzahl von Halbwellen wiedergebenden Schwellenwert, wobei beim Erreichen oder Überschreiten des Schwellenwerts fahrstabilisierenden Maßnahmen eingeleitet werden. Dabei ist vorteilhaft vorgesehen, dass die Bedingungen kontinuierlich erfüllt und die Halbwellen fortlaufend gezählt werden, damit der eine Anzahl von Halbwellen wiedergebende Schwellenwert erreicht

bzw. überschritten wird. Der eine Anzahl von Halbwellen wiedergebende Schwellenwert kann vorteilhaft in Abhängigkeit von der Frequenz bestimmt werden, wobei bei kleinen Frequenzen der Schwellenwert bei einer geringeren Anzahl von Halbwellen als bei einer hohen Frequenz erreicht oder überschritten wird.

Weiterhin ist es vorteilhaft, dass der die Amplitude wiedergebende Schwellenwert jeder Halbwelle mindestens in Abhängigkeit von Größen bestimmt wird, die die Geschwindigkeit des Zugfahrzeugs oder Gespanns oder Anhängers repräsentieren. Dabei ist vorgesehen, dass bei Größen, die eine hohe Geschwindigkeit beschreiben, der Schwellenwert bei geringeren Amplituden als bei Größen, die eine geringe Geschwindigkeit beschreiben, erreicht oder überschritten wird.

Um zu vermeiden, dass der Regler (ESP-Fahrstabilitätsregler) ständig aktiviert und wieder deaktiviert wird, werden nur eine aufeinanderfolgende Anzahl von Halbwellen der Gierwinkelgeschwindigkeit gezählt, bei denen die Amplitude jeder Halbwelle einen Eintrittsschwellenwert erreicht oder überschreitet und dass beim Erreichen oder Unterschreiten nur eines Austrittsschwellenwerts, der unterhalb des Eintrittsschwellenwerts liegt, die fahrstabilisierenden Maßnahmen beendet werden.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die Daten aus dem Verlauf des Differenzwerts gebildet werden. Dabei wird die modellbasierte Gierwinkelgeschwindigkeit in einem Fahrzeugmodell berechnet, das vorteilhaft Bestandteil einer ESP-Fahrstabilitätsregelung ist. In dem Fahrzeugmodell, insbesondere dem Einspurmodell, wird die Modellgierrate im wesentlichen aus dem Lenkwinkel, der Querbeseleunigung und der Fahrzeuggeschwindigkeit (Fahrzeugreferenzgeschwindigkeit) gebildet.

Überraschend hat sich gezeigt, dass bei schnellen Lenkwinkeländerungen, d.h. bei hohen Lenkwinkelgeschwindigkeiten, Abweichungen im Fahrzeugmodell generiert werden, die zu einem Signalverlauf führen, der mit dem beobachteten Signalverlauf beim Schlingern des Gespanns verwechselbar ist. Es wird vermutet, dass diese Abweichungen in den Reaktionszeiten der Signalgenerierung einerseits und der verzögerten Fahrzeugreaktion andererseits zu suchen sind. Um diese Fehlerkennungen zu vermeiden, ist vorgesehen, dass der Differenzwert mit einem Wert, insbesondere einem Faktor, gewichtet wird, der in Abhängigkeit von der Lenkwinkelgeschwindigkeit oder der Lenkwinkelbeschleunigung oder vorzugsweise der Modell- bzw. Referenzgierratenabweichung gebildet wird. Denn es hat sich herausgestellt, dass die Modellgierratenabweichung bzw. Modellgierratengeschwindigkeit zum Filtern des Differenzwertes am geeignetsten ist, da in sie die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und die Lenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta}$ eingehen.

Eine besonders vorteilhafte Ausbildung des Verfahrens sieht vor, dass die Querbeschleunigung erfasst und der Verlauf der Querbeschleunigung nach Kriterien ausgewertet wird, die eine Plausibilitätsüberprüfung der Daten ermöglicht, die aus dem Verlauf des Differenzwerts gewonnen und nach Kriterien ausgewertet werden, die auf ein instabiles Fahrverhalten hinweisen.

Die Plausibilität wird überprüft, indem die Maximal- und Minimalwerte der Querbeschleunigung und deren zeitlichen Abstände ermittelt, die Frequenz bestimmt und mit der Frequenz des Differenzwerts verglichen wird.

Die Plausibilität wird zusätzlich überprüft und das Verfahren beendet bzw. die fahrstabilisierenden Maßnahmen abgebrochen, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

Die Frequenz aus einem Quersignal bzw. einer Quergröße, wie-

der Querbesehleunigung und/oder dem Differenzwert, erreicht oder über- bzw. unterschreitet einen oberen oder unteren Schwellenwert;

Die Frequenz aus dem Quersignal verändert sich relativ zur Frequenz aus dem Differenzwert hin zu einem oberen oder unteren Grenzwert;

Der Absolutwert des Mittelwerts des Quersignals überschreitet einen Schwellenwert;

Die Amplitude des Quersignals verringert sich mit großem Gradienten;

Die Differenz zwischen den Maximal- und Minimalwerten des Quersignals liegt in einem schmalen Band.

Da bei sehlingernden Gespannen die Phasenverschiebung klein ist, ist vorteilhaft vorgesehen, dass die Phasenverschiebung zwischen der Querbesehleunigung und dem Differenzwert ermittelt und nach Kriterien bewertet wird, die eine Bestimmung von Fahrsituationen ermöglichen.

Vorteilhaft ist, dass beim Überschreiten eines Schwellenwerts, der eine große Phasenverschiebung wiedergibt, ein Abbruch der fahrstabilisierenden Maßnahmen bzw. eine Beendigung des Verfahrens eingeleitet wird.

Gegenstand der Erfindung ist ferner eine Einrichtung zum Stabilisieren eines Gespanns, die eine ESP Fahrstabilitätsregelung aufweist, mit einem Gierratensensor zum Erfassen der Gierwinkelgeschwindigkeit und einem Fahrzeugmodell zum Bilden einer Referenzgierwinkelgeschwindigkeit, mit einer Ermittlungseinheit, die aus der Gierwinkelgeschwindigkeit und der Referenzgierwinkelgeschwindigkeit einen Differenzwert ermittelt, mit einer Steuereinheit, die fahrstabilisierende Maßnahmen in Abhängigkeit von Daten steuert, die aus dem Verlauf des Differenzwerts gewonnen und nach Kriterien ausgewertet werden, die auf ein instabiles Fahrverhalten hinweisen

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

- Fig. 1. ein Fahrzeug mit ESP Regelungssystem
- Fig. 2 den Signalverlauf des Differenzwertes des schwingenden Zugfahrzeugs
- Fig. 3 die Signale eines schwingenden Zugfahrzeugs
- Fig. 4 ein vereinfachtes Ablaufschema der Regelung
- Fig. 5 ein vereinfachtes Blockschaltbild zur Berechnung von dem Differenzwert $\Delta\psi$

Bevor auf das eigentliche Verfahren eingegangen wird, soll anhand der Figur 3 schematisch der Signalverlauf der Schwingung der Gierrate (Strich-Punkt), des Lenkwinkels (Strich-Strich) und des Differenzwerts aus gemessener Gierrate und Modell- oder Referenzgierrate in Abhängigkeit von einem Wedelmanöver bzw. slalomartigen Ausweichen von Hindernissen erläutert werden. Der Signalverlauf a) zeigt einen sinusförmigen Verlauf der Gierrate $\dot{\psi}$ und des Differenzwertes $\Delta\dot{\psi}$ aus Modellgierrate und gemessener Gierrate ohne dass der Fahrer lenkt. Ohne korrespondierenden Lenkwinkelverlauf ist der Verlauf der Gierrate und der Differenzwert aus gemessener Gierrate und modellbasierter Gierrate nahezu gleich.

Figur 3 b) stellt den Signalverlauf dar, der z.B. bei einem Wedelmanöver entsteht, wenn die Schwingung allein durch den Lenkwinkelverlauf erzeugt wird, bei dem das Fahrzeug dem im Fahrzeugmodell abgebildeten Fahrverhalten des Fahrers folgen kann. Hier ist der betrachtete Differenzwert Null, da keine Abweichung zwischen gemessener Gierrate und modellbasierter Gierrate ermittelt wird; das Fahrzeug folgt dem vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkel.

Figur 3 c) zeigt den Signalverlauf bei dynamischen Wedelmannövern. Hier wird die Schwingung allein durch den Lenkwinkelverlauf aufgrund der schnellen Lenkwinkeländerungen, d.h. bei hohen Lenkwinkelgeschwindigkeiten, erzeugt. Der sinusförmige Verlauf des Differenzwertes beruht dabei im wesentlichen darin, dass das Fahrzeug dem Fahrzeugmodell nicht mehr folgen kann; d.h. die im Fahrzeugmodell ermittelte Modellgierrate stimmt mit der gemessenen Gierrate nicht mehr überein, da das Fahrzeug die dynamischen Lenkwinkeländerungen nicht mehr sofort umsetzen kann.

In den Fig. 1 ist ein Fahrzeug mit ESP-Regelungssystem, Bremsanlage, Sensorik und Kommunikationsmöglichkeiten schematisch dargestellt. Die vier Räder sind mit 15, 16, 20, 21 bezeichnet. An jedem der Räder 15, 16, 20, 21 ist je ein Radsensor 22 bis 25 vorgesehen. Die Signale werden einer Elektronik-Steuereinheit 28 zugeführt, die anhand vorgegebener Kriterien aus den Raddrehzahlen die Fahrzeuggeschwindigkeit v ermittelt. Weiterhin sind ein Gierratensensor 26, ein Querbeschleunigungssensor 27 und ein Lenkradwinkelsensor 29 mit der Komponente 28 verbunden. Jedes Rad weist außerdem eine individuell ansteuerbare Radbremse 30 bis 33 auf. Diese Bremsen werden hydraulisch betrieben und empfangen unter Druck stehendes Hydraulikfluid über Hydraulikleitungen 34 bis 37. Der Bremsdruck wird über einen Ventilblock 38 eingestellt, wobei der Ventilblock von elektrischen Signalen Fahrer unabhängig angesteuert wird, die in der elektronischen Steuereinheit 28 erzeugt werden. Über ein von einem Bremspedal betätigten Hauptzylinder kann von dem Fahrer Bremsdruck in die Hydraulikleitungen eingesteuert werden. In dem Hauptzylinder bzw. den Hydraulikleitungen sind Drucksensoren P vorgesehen, mittels denen der Fahrerbremswunsch erfaßt werden kann. Über eine Schnittstelle (CAN) ist die Elektronik-Steuereinheit mit dem Motorsteuergerät verbunden

Über das ESP-Regelungssystem mit Bremsanlage, Sensorik und Kommunikationsmöglichkeiten das die Ausstattungselemente

- vier Raddrehzahlsensoren
- Drucksensor (Bremsdruck im Hauptzylinder p_{main})
- Querb beschleunigungssensor (Querb beschleunigungssignal a_{ist} , Querneigungswinkel α)
- Gierratensensor ($\dot{\psi}$)
- Lenkradwinkelsensor (Lenkwinkel δ , Lenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta}$)
- individuell ansteuerbare Radbremsen
- Hydraulikeinheit (HCU)
- Elektronik-Steuereinheit (ECU)

aufweist, lässt sich eine Aussage über die jeweilige Fahr situation und damit über eine Bestimmung der Ein- und Austrittsbedingungen eine aktivierte bzw. deaktivierte Regelungssituation realisieren. Damit ist eine Hauptkomponente des Verfahrens zur Stabilisierung von Gespannen, die Fahr situationserkennung, möglich, während die andere Hauptkomponente, die Interaktion mit dem Bremssystem, ebenfalls auf die wesentlichen Komponenten der Fahrstabilisationsregelung zurückgreift.

Ein konventioneller ESP-Eingriff dient dazu, durch gezielte Eingriffe an den einzelnen Bremsen eines Fahrzeugs ein zusätzliches Drehmoment zu schaffen, welches die tatsächlich gemessene Gierwinkeländerung pro Zeiteinheit (Ist-Gierrate $\dot{\psi}_{ist}$) eines Fahrzeugs zu der von dem Fahrer beeinflussten Gierwinkeländerung pro Zeiteinheit (Referenz- bzw. Modell- bzw. Soll-Gierrate $\dot{\psi}_{soll}$) hinführt. Dabei werden die Eingangsgrößen, welche aus der von dem Fahrer gewünschten Kurvenbahn resultieren, einer Fahrzeugmodellschaltung zugeführt, welche anhand des bekannten Einspurmodells oder eines anderen Fahrmodells aus diesen Eingangsgrößen und für das Fahrverhalten des Fahrzeugs charakteristischen Parametern,

aber auch durch die Eigenschaften der Umgebung vorgegebenen Größen eine Modellgierrate ($\dot{\Psi}_{\text{soll}}$), bestimmt, die mit der gemessenen tatsächlichen Gierrate ($\dot{\Psi}_{\text{ist}}$) verglichen wird. Die Differenz der Modell-/Ist-Gierrate ($\Delta\dot{\Psi}$) wird mittels eines sogenannten Giermomentreglers in ein zusätzliches Giermoment M_G umgerechnet, welches die Eingangsgröße einer Verteilungslogik bildet.

Eine Verteilungslogik bestimmt wiederum, ggf. in Abhängigkeit von einem bestimmten Bremsdruck an den Radbremsen anfordernden Bremswunsch des Fahrers, den an den einzelnen Bremsen aufzubringenden Bremsdruck. Dieser soll zusätzlich zu der gegebenenfalls erwünschten Bremswirkung noch ein zusätzliches Drehmoment an dem Fahrzeug erzeugen, welches das Fahrverhalten des Fahrzeugs in Richtung des Lenkwunsches des Fahrers unterstützt.

Figur 5 zeigt schematisch den Teil der ECU 28, in dem die Berechnung des Differenzwerts $\Delta\dot{\Psi}$ erfolgt. Die ECU 28 weist ein Fahrzeugmodell 50 zum Bilden einer Modellgierrate auf. Dem Fahrzeugmodell 50 wird mindestens der Lenkwinkel und die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} zugeführt; weitere Daten die in das Modell eingehen können sind die Quereschleunigung, die gemessene Gierrate und ein in einer Reibwert- und Situationserkennung ermittelter Reibwert. Aus den Eingangssignalen wird in dem Modell die Modellgierrate gebildet. In der Ermittlungseinheit 51 wird die Modellgierrate mit der mit dem Gierratensensor 26 erfassten Gierrate verglichen und aus der Gierrate und der Modellgierrate der Differenzwert ermittelt. Der Differenzwert $\Delta\dot{\Psi}/dt$ wird von einem in Abhängigkeit von der Modellgierratenänderung gebildeten Faktor gewichtet und in dem Filter 52 gefiltert. Der Faktor $\neq 0$ verhindert dabei die in Zusammenhang mit Fig. 3c) beschriebene Fehlererkennung.

In Figur 2 ist der Signalverlauf des Differenzwertes eines schwingenden Zugfahrzeugs abgebildet.

Als erstes Bestandteil der Erkennung beinhaltet das Verfahren ein Modul zur Analyse des Verlaufs der Differenz der Modell-/Ist-Gierrate $\Delta\dot{\Psi}$. Das Modul detektiert Nulldurchgänge 60, 61 des zur Analyse heranzuziehenden Differenzwertes zwischen Modellgierrate und gemessener Gierrate und ermittelt die Zeit zwischen zwei Nulldurchgängen. Dadurch erhält man die Schwingungsfrequenz. Eine Halbwelle wird nur dann als gültig erkannt, wenn die ermittelte Frequenz innerhalb eines typischen Bands liegt (ca. 0,5-1,5 Hz). Weiterhin ist eine Halbwelle nur dann gültig, wenn die Amplitude zwischen zwei Nulldurchgängen eine bestimmte Schwelle überschritten hat. Die Anzahl der gültigen Halbwellen wird gezählt. Überschreitet die Anzahl der gültigen Halbwellen einen Schwellenwert, ist die Differenzwert-Bedingung zur Erkennung eines schlingenden Gespanns erfüllt.

Durch Beobachtung der Differenz zwischen Modellgierrate und gemessener Gierrate werden Lenkbewegungen des Fahrers direkt im Erkennungssignal berücksichtigt. Führt der Fahrer z.B. ein Wedelmanöver bei niedriger Fahrzeuggeschwindigkeit mit geringer Lenkwinkelgeschwindigkeit durch, so zeigt zwar die gemessene Gierrate einen Verlauf, der auf ein schlingendes Gespann schließen lassen könnte, die Modelgierrate zeigt jedoch beim Wedeln den gleichen Verlauf, sodass das Differenzsignal nahe Null ist, und eine Fehlerkennung ausgeschlossen wird. Durch diese Ausgestaltung der Methode werden somit Fehlerkennungen durch Wedeln vermieden. Zusätzlich wird durch diese Methode eine Erkennung schlingender Gespanne in der Kurve vereinfacht. Bei Kurvenfahrt erhält die Gierrate einen Offset, sodass die Schwingung nicht mehr um den Nullpunkt schwingt, sondern um diesen Offset. Dadurch ist eine Erkennung erschwert. Verwendet man jedoch die Differenz zwischen Modellgierrate und gemessener Gierrate (Gierwinkelgeschwindigkeit), so wird dieser Offset kompensiert. Das Erkennungssignal schwingt somit immer um Null.

Eine weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass die Regelabweichung zwischen Ist- und Modellgierrate zusätzlich durch einen Faktor gewichtet wird, der modellgieratengeschwindigkeitsabhängig berechnet wird. Je schneller die Modellgierratenänderung, desto kleiner wird der Faktor, der jedoch immer >0 ist. Der Faktor wird mit dem Differenzwert bzw. Differenzwertsignal multipliziert, sodass bei schneller Änderung der Modellgierrate ein kleiner Differenzwert resultiert, die Erkennung also nur bei extremen Schwingungen erlaubt, sonst vermieden wird. Dadurch wird berücksichtigt, dass bei schnellen Lenkbewegungen das Fahrzeug dem Fahrzeugmodell nicht mehr folgen kann, so dass die Differenz zwischen Modellgierrate und gemessener Gierrate einen Signalverlauf zeigt, der zu Fehlerkennungen führen würde.

Eine weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass die Anzahl der geforderten Halbwellenanzahl von der Frequenz der Schwingung abhängig ist. Je mehr Halbwellen gefordert werden, desto sicherer wird die Erkennung gegen Fehlerkennungen. Bei kleinen Frequenzen dauert es durch die Forderung großer Halbwellenanzahlen jedoch u.U. zu lange, bis ein Eingriff erfolgen kann. Daher ist es vorteilhaft, bei kleinen Frequenzen schon bei geringen Halbwellenanzahlen einzugreifen, bei hohen Frequenzen jedoch mehr Halbwellen zu fordern.

Eine weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass die geforderten Schwingungsamplituden geschwindigkeitsabhängig sind. Bei hohen Geschwindigkeiten sind Schwingungen kritischer als bei niedrigen. Daher erfolgt bei hohen Gespanngeschwindigkeiten schon bei kleinen Differenzwertschwingungen eine Erkennung, bei niedrigen Geschwindigkeiten dagegen wird die Schwelle angehoben.

Eine weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, getrennte Ein- und Austrittsschwellen für die Differenzwertamplituden vorzusehen. Ein Eingriff erfolgt erst dann, wenn die Gierrate die hohe Schwelle überschreitet. Im folgenden wird der Eingriff erst dann beendet, wenn eine niedrigere Austrittsschwelle unterschritten wird. Dies gewährleistet, dass es einen definierten Eingriff gibt und es nicht dazu kommt, dass der Regler ständig aktiviert und wieder deaktiviert wird.

Als zweiter Bestandteil der Erkennung beinhaltet das Verfahren ein Modul zur Analyse des Querschleunigungsverlaufs. Maxima und Minima des Signals werden ermittelt. Aus den zeitlichen Abständen zwischen Maxima und Minima kann die Frequenz ermittelt werden. Die Frequenz muss etwa der Frequenz des Differenzwertsignals entsprechen. Die Position der Maxima und Minima des Querschleunigungssignals wird mit der Position der Maxima und Minima des Differenzwertsignals verglichen. Daraus lässt sich die Phasenverschiebung zwischen Differenzwert und Querschleunigung berechnen. Die Phasenlage ist während Fahrten über welliger Fahrbahn anders als bei Fahrten mit schlingernden Gespannen. Bei schlingernden Gespannen ist die Phasenverschiebung klein. Dieses Kriterium wird geprüft und bei einer zu großen Phasenverschiebung die Erkennung eines schlingernden Gespanns verboten.

Eine weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, durch mehrere zusätzliche Plausibilitätsüberprüfungen der Quersignale Fehlanregelungen zu verhindern. Folgende Signalverläufe sind bei schlingernden Gespannen untypisch und führen daher zur Verhinderung bzw. zum Abbruch von Eingriffen:

- Frequenz der Quersignale verändert sich deutlich (wird signifikant kleiner oder größer).
- Frequenz der Quersignale liegt außerhalb des typischen Frequenzbandes.

- Die Amplitude der Quersignale nimmt stark ab.
- Differenz der Maxima und Minima der Quersignalverläufe ist klein.

Absolutwert des Mittelwerts der Querbeschleunigung liegt zu hoch (extreme Kurvenfahrt; bei solchen Manövern sind schlingende Gespanne unplausibel).

Figur 4 zeigt vereinfacht die logischen Abläufe bei der Regelung:

Ausgehend von der im ESP-Fahrzeugmodell (siehe beispielsweise die Fahrstabilitätsregelung gemäß Fig.1 und 2 sowie deren Beschreibung in DE 195 15 056, die Bestandteil dieser Anmeldung sein soll) ermittelten Gierratendifferenz 41 ($\Delta\dot{\psi}$) aus Modell- und gemessener Gierrate, wird in Schritt 40 der Differenzwert 41 gefiltert. Das heißt, dass der Differenzwert 41 einen Tiefpass durchläuft, so daß keine extremen Spitzen auftreten. Schritt 42 umfasst die Suche nach Halbellipsen im Eingangssignal, die anhand zweier Nulldurchgänge, einem Maximum, einer Mindestamplitude und einer definierten Anfangssteigung analysiert werden. In der Raute 43 wird abgefragt, ob die Halbwelle erkannt wurde. Ist dies nicht der Fall, wird auf Schritt 42 zurückgeschaltet und die Suche nach Halbwellen fortgesetzt. Wurde die Halbwelle anhand der vorstehenden Kriterien erkannt, wird diese in Raute 44 auf ihre Gültigkeit hin überprüft. Dazu werden folgende Kriterien abgefragt:

- das Maximum der Halbwelle muß einen bestimmten Wert überschreiten
- der Abstand der Nulldurchgänge (Halbwellenlänge) muß im signifikanten Frequenzbereich liegen
- das Hystereseband muß nach einer bestimmten Zeit verlassen werden
- ab der zweiten gefundenen Welle:

- die Halbwellenlänge muß mit der vorhergehende übereinstimmen
- die Querbesehleunigung darf im Mittel nicht größer als ein bestimmter Wert sein
- die Querbesehleunigung muß im Zeitpunkt des Maximums der Halbwelle das gleiche Vorzeichen haben
- die Querbesehleunigung muß eine Halbwelle etwa gleicher Dauer aufweisen
- die Modellgierrate muß im Zeitpunkt des Maximums der Halbwelle das gleiche Vorzeichen haben
- die Modellgierrate muß um einen gewissen Betrag kleiner sein als die Fahrzeuggierrate

Sind diese Kriterien alle erfüllt ist die Halbwelle gültig und der Halbwellenzähler in Schritt 45 wird inkrementiert. Bei einer deutlichen Amplitudenabnahme (aktuelle Amplitude nur noch X% der vorhergehenden Amplitude) wird der Zähler nicht inkrementiert sondern behält seinen Wert bei, was zu einem späteren Eintritt in die Regelung führen kann. Sind die Kriterien nicht alle erfüllt, wird in Schritt 48 der Halbwellenzähler auf Null zurückgesetzt. In Raute 46 wird festgestellt ob N Halbwellen erkannt sind. Dies löst Schritt 47 eine Verzögerungsregelung des Fahrzeugs aus.

Die Kriterien ermöglichen eine Regelung in Kurvenfahrt und sogar bei Lenkbewegungen des Fahrers.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Stabilisieren eines Gespanns, mit einem Zugfahrzeug und einem durch das Zugfahrzeug bewegten Anhänger, bei dem das Zugfahrzeug im Hinblick auf Schlingerbewegungen überwacht wird und beim Erkennen von tatsächlichem oder erwarteten instabilem Fahrverhalten des Zugfahrzeugs oder Gespanns fahrstabilisierende Maßnahmen ergriffen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gierwinkelgeschwindigkeit erfasst und die fahrstabilisierenden Maßnahmen in Abhängigkeit von einem Differenzwert gesteuert werden, der aus der erfassten Gierwinkelgeschwindigkeit und einer modellbasierten Gierwinkelgeschwindigkeit gebildet und nach Kriterien ausgewertet wird, die auf ein instabiles Fahrverhalten hinweisen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenz und die Amplitude jeder Halbwelle des Differenzwertes ermittelt, mit gespeicherten Werten verglichen und in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis die Schlingerbewegung des Gespanns bewertet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenz aus den Nulldurchgängen und der Zeit zwischen zwei Nulldurchgängen des Differenzwertes ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl der Halbwellen des Differenzwertes gezählt werden, bei denen die Amplitude jeder Halbwelle einen Schwellenwert erreicht oder überschreitet und bei denen jede positive und negative Halbwelle der ermittelten Frequenz innerhalb eines durch einen oberen und unteren Schwellenwert definierten Bandes liegt und wobei beim Erreichen oder Über-

schreiten eines eine Anzahl von Halbwellen wiedergebenden Schwellenwerts fahrstabilisierenden Maßnahmen eingeleitet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der eine Anzahl von Halbwellen wiedergebende Schwellenwert in Abhängigkeit von der Frequenz bestimmt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei kleinen Frequenzen der Schwellenwert bei einer geringeren Anzahl von Halbwellen als bei einer hohen Frequenz erreicht oder überschritten wird.
7. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der die Amplitude wiedergebende Schwellenwert jeder Halbwelle mindestens in Abhängigkeit von Größen bestimmt wird, die die Geschwindigkeit des Zugfahrzeugs oder Gespanns oder Anhängers repräsentieren.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Größen, die eine hohe Geschwindigkeit beschreiben, der Schwellenwert bei geringeren Amplituden als bei Größen, die eine geringe Geschwindigkeit beschreiben, erreicht oder überschritten wird.
9. Verfahren nach Anspruch 4, 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass nur eine aufeinanderfolgende Anzahl von Halbwellen des Differenzwertes gezählt werden, bei denen die Amplitude jeder Halbwelle einen Eintrittsschwellenwert erreicht oder überschreitet und dass beim Erreichen oder Unterschreiten nur eines Austrittsschwellenwerts, der unterhalb des Eintrittsschwellenwerts liegt, die fahrstabilisierenden Maßnahmen beendet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Daten aus dem Verlauf des Differenzwerts gebildet werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Differenzwert mit einem Wert gewichtet wird, der in Abhängigkeit von der Lenkwinkelgeschwindigkeit oder Lenkwinkelbeschleunigung oder der modellbasierten Gierwinkelgeschwindigkeit gebildet wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Querbeschleunigung erfasst und der Verlauf der Querbeschleunigung nach Kriterien ausgewertet wird, die eine Plausibilitätsüberprüfung der Daten ermöglicht, die aus dem Verlauf des Differenzwerts gewonnen und nach Kriterien ausgewertet werden, die auf ein instabiles Fahrverhalten hinweisen.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Maxima-- und Minimalwerte der Querbeschleunigung und deren zeitlichen Abstände ermittelt, die Frequenz bestimmt und mit der Frequenz des Differenzwerts verglichen wird.
14. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren beendet bzw. die fahrstabilisierenden Maßnahmen abgebrochen werden, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt sind:
Die Frequenz aus einem Quersignal, insbesondere der Querbeschleunigung und/oder dem Differenzwert, erreicht oder über- bzw. unterschreitet einen oberen oder unteren Schwellenwert;
Die Frequenz aus dem Quersignal verändert sich relativ zur Frequenz aus dem Differenzwert hin zu einem oberen oder unteren Grenzwert.

Der Absolutwert des Mittelwerts dem Quersignal überschreitet einen Schwellenwert.

Die Amplitude dem Quersignal verringert sich mit großem Gradienten.

Die Differenz zwischen den Maximal- und Minimalwerten des Quersignals liegt in einem schmalen Band.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenverschiebung zwischen der Querbeschleunigung und dem Differenzwert ermittelt und nach Kriterien bewertet wird, die eine Bestimmung von Fahrsituationen ermöglichen.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Überschreiten eines Schwellenwerts, der eine große Phasenverschiebung wiedergibt, ein Abbruch der fahrstabilisierenden Maßnahmen bzw. eine Beendigung des Verfahrens eingeleitet wird.
17. Einrichtung zum Stabilisieren eines Gespanns, mit einem Zugfahrzeug und einem durch das Zugfahrzeug bewegten Anhänger, bei dem das Zugfahrzeug im Hinblick auf Schlingerbewegungen überwacht wird und beim Erkennen von tatsächlichem oder erwarteten instabilem Fahrverhalten des Zugfahrzeugs oder Gespanns fahrstabilisierende Maßnahmen ergriffen werden, **gekennzeichnet durch** eine ESP Fahrstabilitätsregelung mit einem Gierraten-sensor zum Erfassen der Gierwinkelgeschwindigkeit und einem Fahrzeugmodell zum Bilden einer Referenzgierwinkelgeschwindigkeit, mit einer Ermittlungseinheit, die aus der Gierwinkelgeschwindigkeit und der Referenzgierwinkelgeschwindigkeit einen Differenzwert ermittelt, mit einer Steuereinheit, die fahrstabilisierende Maßnahmen in Abhängigkeit von Daten steuert, die aus dem Verlauf des Differenzwerts gewonnen und nach Kriterien

ausgewertet werden, die auf ein instabiles Fahrverhalten hinweisen.

Zusammenfassung

Verfahren und Einrichtung zum Stabilisieren eines Gespanns

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zum Stabilisieren eines Gespanns, mit einem Zugfahrzeug und einem durch das Zugfahrzeug bewegten Anhänger, bei dem das Zugfahrzeug im Hinblick auf Schlingerbewegungen überwacht wird und beim Erkennen von tatsächlichem oder erwarteten instabilem Fahrverhalten des Zugfahrzeugs oder Gespanns fahrstabilisierende Maßnahmen ergriffen werden. Um einen fahrstabilisierenden Eingriff an dem Zugfahrzeug rechtzeitig ausführen zu können und Fehlanregungen zu vermeiden ist vorgesehen, dass die Gierwinkelgeschwindigkeit erfasst und die fahrstabilisierenden Maßnahmen in Abhängigkeit von Daten gesteuert werden, die mindestens aus dem Verlauf der Gierwinkelgeschwindigkeit gewonnen und nach Kriterien ausgewertet werden, die auf ein instabiles Fahrverhalten hinweisen.

(Figur 2)